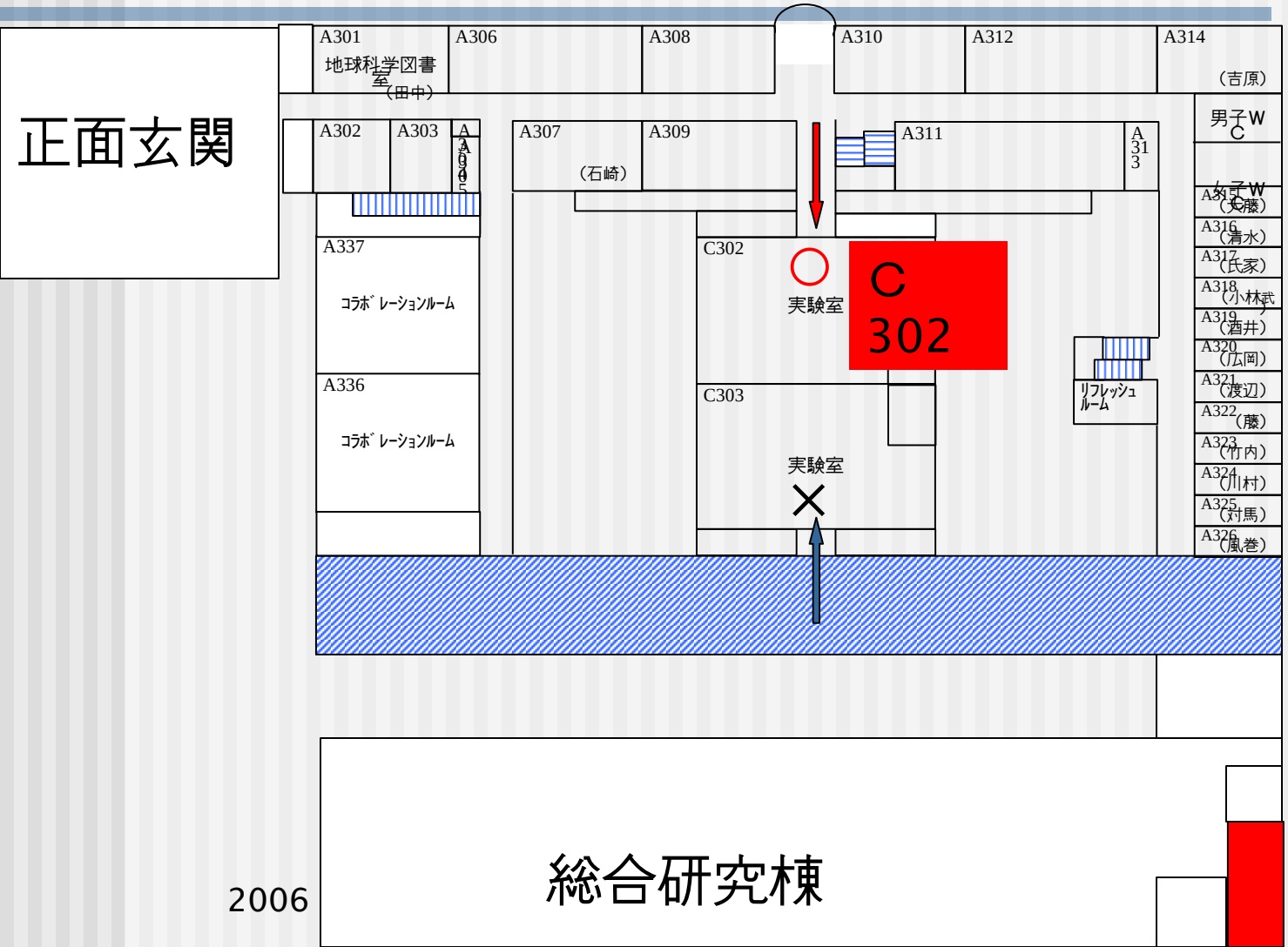
実験ガイダンス

～レポートの書き方など～

実験の実施方法

- 実験室：Ｃ302（理学部1号館Ｃ棟3Ｆ）
- 実験手順書：各人に配布
- 参考：「実験物理学」　吉田他・三省堂

◇実験場所：
理学部1号館Ｃ棟3Ｆ Ｃ302



実験実施時の注意点(1)

- 実験に積極的に参加
  実験グループ内で役割分担と交代
- 実験ノートを作る
  気づいたことはその場で何でも細かく記録
- 取得データの妥当性をつねに吟味
  - 実験データはその場でグラフ化
  - 後で「ダメだった！」と気付いても遅い
  - 関数電卓：三角関数や対数関数機能
    （携帯電話は不可）
  - グラフ用紙（場合によって片対数グラフも）持参

実験遂行上の注意点(2)

- 実験をすれば何らかの結果は出る
  - ・得られた実験結果に誤りがないかどうかを自分自身で確認（「誰かがそう言ったから…．」はＮＧ）
  - ・実験道具がまともでも使い方次第でどんな結果でも出てしまうのが実験である（系統的誤差）
- 正しい結果が出てもへんてこな解釈はあり得る
  - ・最初に想定した仮定と矛盾がないか
  - ・物理法則・物理的常識とマッチしているか

◇実験室での注意

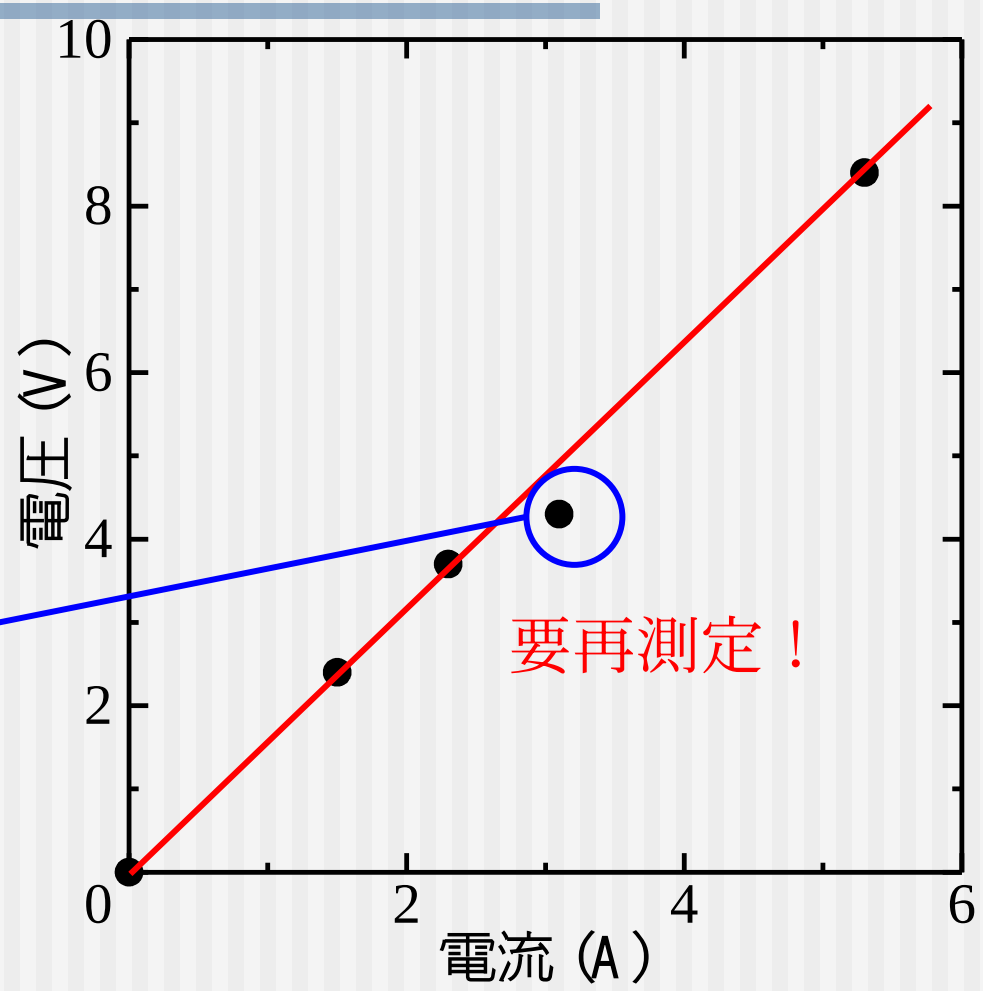
- 実験室内は飲食禁止
- 雨傘は室内の傘置き場へ
- 服装は自由（白衣は不要）
- 荷物は実験室内のロッカーへ
  （貴重品は身につける）

◇実験室での事故防止等

- 高電圧による感電に注意
- ガラス器具の破損による怪我に注意
- ヒーターなどで火傷しないように
- レーザー光を目に入れない
- 実験器材・装置の破壊は避ける

補足：グラフ化の有効性

電流(A)	電圧（V）
0	0
1.5	2.4
2.3	3.7
3.1	4.3
5.3	8.4



実験ノートはどう作るべき？

- いつでも実験状況を再現できるように
  - ・条件，状況は正確・詳細に記録
  - ・スケッチ，図面などの補助的手段の活用
  - ・生データを記載：単位も忘れず
    - その場でノートに書く。テキスト・メモ用紙にかかない
- 日付・時間・タイトル
- グラフ・図面などを実験ノートに添付
- 失敗の痕跡を残す（二重線などで消して）
  - ・鉛筆ではなく、ボールペンが望ましい
- 清書は不要（自分が理解できれば良い）

レポート作成の基本技術

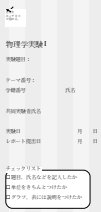
- レポートを読む人は誰？　　もちろん教員
  - ・レポートの内容　→　成績評価
  - ・理解度，物理的発想，結果を正しく導き出しているか，を分析
- 順序だてて判りやすく書く
  - ・何を目的に⇒何を行い⇒どのような結果が出てきて
    ⇒それをどう解釈し⇒何が判ったか，を読む人が理解出来るように書く
  - ・まとめながら「自分自身で理解できているかどうか？」　が判断できる
- 簡潔にまとめる
  - ・箇条書きにしたり，式や実験結果である図を正確に書くことにより
    「結局何をしたのか？」が容易に判る

レポートの構成

- 表紙
- 実験の目的・方針
- 実験方法
- 実験結果
- 考察

表紙

- 実験題目名
- 実験者名および学籍番号
- 共同実験者名
- 実験年月日
- レポート提出日


物理学実験I

実験題目：

テーマ番号：

学籍番号　　氏名

共同実験者氏名

実験年月　　月　日

レポート提出日　　月　日

チェックリスト

□題目、氏名などを正しいか

□単位をきちんとつけたか

□グラフ、表には説明をつけたか

実験方法

- 他の人が追試できるように
  - 再現できないものは科学ではない
  - 使用した装置を明記・説明
  - 実験条件を正確に詳しく
  - 何を測定したか（実験の段階で）
- 自分の言葉で（テキスト等の丸写しはＮＧ）
- 単なる「手順書」にしてはいけない

実験結果

- 「整理されたデータ」を心がける
  - 単位を明記（「単なる数値」は物理ではない）
  - 得られた数値の正負の符号（ベクトル物理量）
  - 表にまとめる
  - グラフ化する

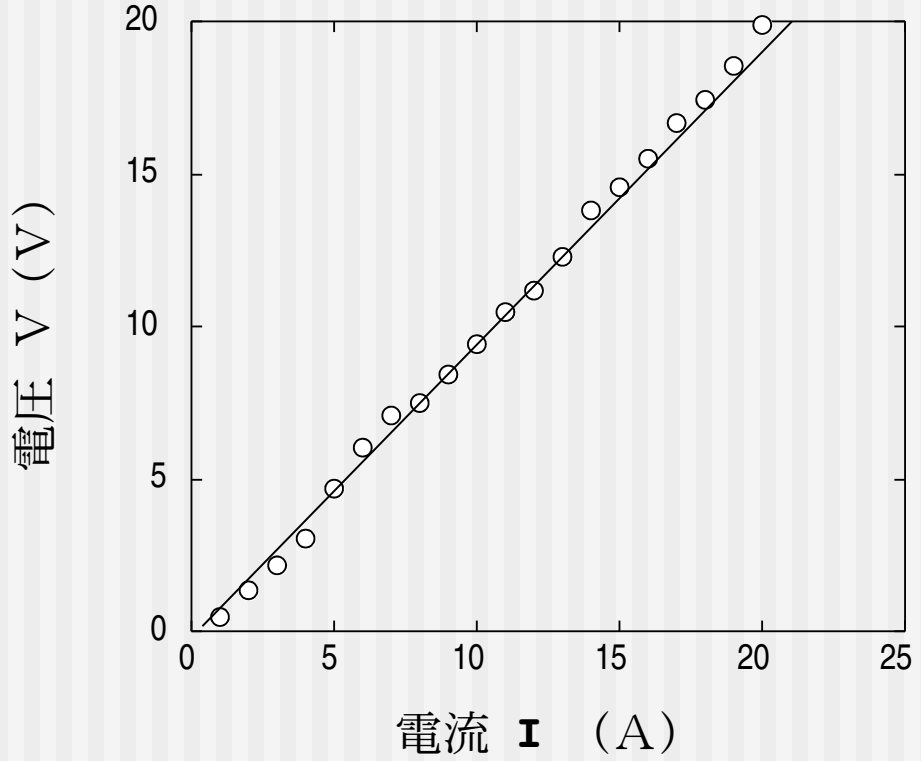
- 結果と実験者の意見を区別する

  ⇒結果は客観的なもの

グラフ：データのビジュアル化

- 物理量間の相関
  - 各グラフ軸を明記：物理量と数値単位
  - 特徴的な数値，角度などの書き込み
  - 線種・マークの区別と使い分け
  - データ点数，データの区別
- グラフ上の任意の点を読み取りやすく

グラフの描き方の例



実験データの確認

軸を明記する
　物理量
　数値と単位
図の番号をつける
説明文をつける

図１　試料に流した電流Ｉ（Ａ）と電圧Ｖ（Ｖ）の関係を示したグラフ．直線は１次の線形回帰計算※を行った結果。※解析の項を参照

データの解析

- 解析の過程を簡潔に記す
- 解析に用いた物理法則・式を明示
- 仮定と解析結果の整合性を意識する

結果：悪い例（オームの法則）

§３　実験結果

電流(mA)	20	40	60	80
電圧(mV)	46.4	89.2	133.7	178.1

グラフは別紙

本文がない（数値だけ示して終わり）
グラフの指定（図１とか２とか）がない

結果：改良（オームの法則）1/3

§３　実験結果

　試料に正方向に流した直流電流と，そのとき試料の両端に生じた電圧の関係を表１に示す.

電流(mA)	20.0	40.0	60.0	80.0
電圧(mV)	46.4	89.2	133.7	178.1

〔表１〕試料に正方向に流した直流電流とそれにより試料の両端に生じた電圧の関係

結果：改良（オームの法則）2/3

表１の試料電流と試料の両端に生じた電圧をグラフにしたものが図１である．いずれの測定データも，測定誤差の範囲内で単一の直線上に乗ることがわかる．次に・・・．

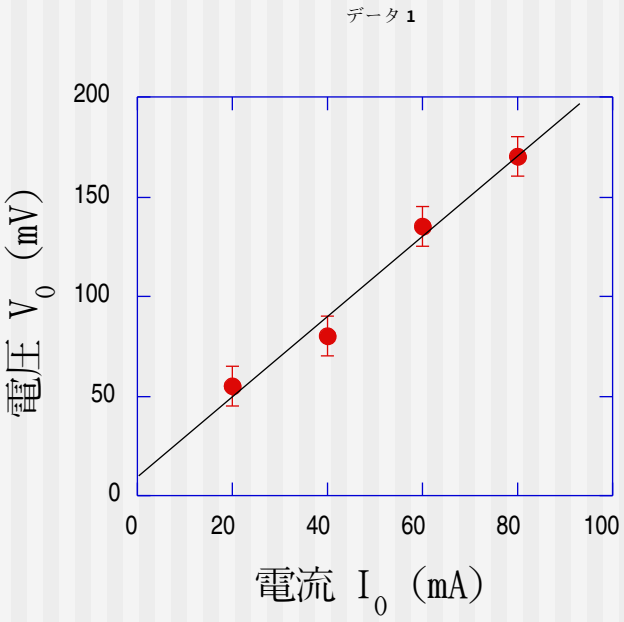


図１　試料に流した電流と、試料両端に生じた電圧。直線は測定データを通る回帰直線。

結果：改良（オームの法則）3/3

得られた結果に対し線形回帰（最小二乗）計算を行うと

$$V_0 = 11.7 I_0 + 1.92 \qquad (1)$$

となった．図１に描かれている直線は式(1)を表している．

オームの法則は，試料の電気抵抗をＲ(Ω)とすると

$$V_0 = I_0 R \qquad (2)$$

と書け，V_0とI_0は比例する．しかし得られた結果は$I_0 = 0$Ａのとき，図１から明らかなように$V_0 = 0$Ｖに向かっておらず，このままでは，両者が比例関係にあるとは言えない．

§４考察においてこのような結果になった原因を述べるが，式(1)の右辺第1項は式(2)の右辺に対応しており，その係数が試料の電気抵抗に等しいと見なすことができる．

考察

- どのような結論が導き出されるか
- 理論との比較
- 結果の誤差・信頼性の評価
- 実験方法に改善するところがないか
- 結果から何か新しい事実が導き出せないか
  （目的以外の事柄に目を向けてみる）
- この結果からどのような理解が得られたか
- 今後の課題としてはどんなことが考えられるか

考察の例

今回の実験で得られた試料，すなわち銅の電気伝導率は

$1.82 \pm 0.03 \times 10^{8} (\Omega^{-1}\mathrm{cm}^{-1})$

であった．理科年表（2004年版）によると，銅の電気伝導率は

$1.8467 \times 10^{8} (\Omega^{-1}\mathrm{cm}^{-1})$

である．我々の測定値と文献値は，誤差の範囲で一致しており実験は成功であったと判断される．

しかしながら，文献値は有効数字５桁であるのに対し，我々の得た結果は３桁の有効数字しかない．これは，試料の直径の測定精度が３桁しかなかったことが原因である．さらに精度を上げるには，マイクロメータで測るなど…..

直接測定と間接測定

- 直接測定
  - 読み取った値そのものが求められている観測値
  - 例：長さを定規で　電圧を電圧計で　測る
- 間接測定
  - 観測値を基に演算で導出
  - 例：電気抵抗を求める場合
    - 試料に流れる電流と試料で発生する電圧を別々に測定し，オームの法則を利用して算出する
  - 直接測定値の測定精度が間接測定値の有効桁数を決める
    - 誤差の伝播則（参考テキスト）

誤差とは？

- 測定をすると…

⇒誤差はもれなく付いてくる

誤差＝測定値－真値

１．系統的誤差

機械的・個人的・理論的⇒改善可能

２．偶然的誤差

測定者がコントロールできない誤差⇒誤差論の対象

- 誤差の程度，測定値の信頼度　⇒有効数字

有効数字

~~2.340=2.34~~ 物理的

- 有効数字とは
  - 測定結果などを表わす数字のうちで，位取りを示すだけのゼロを除いた意味のある数字
  - 確実である数字及びプラス1けたのやや不確実性をもった数字とを含める
  - 最小桁に不確定な数字があるように表現した数値
- 値そのものだけでなく，どの位で誤差がでてくるのか，精度の限界はどこまでか

有効数字の表記例

- 1.0234g の質量は5けたの有効数字
- 0.0234g の質量は3けたの有効数字

  ※初めの2つのゼロは桁数を示すだけで有効数字ではない

- 科学的記数法(10のべき乗)
  - 0.0234ｇ
  - 23.4 ｍｇ
  - 23400 μｇ⇒最後の2桁は良いのか？

    ⇒$2.34\times10^{4}\,\mu g = 2.34\times10^{-2}\,g$　有効桁が明確！

直接測定値の有効数字

- アナログ表示
  - 最小目盛りの1/10まで
    例えば，最小目盛1mmの定規：0.1mmまで
- デジタル表示の測定器の場合
  - ・最小桁まで有効数字と見なせる
  - ・取扱説明書などで感度を確かめる

足し算・引き算

- 足し算・引き算をした結果をもとの有効数字のうち小数点以下の桁数が最も少ないものの桁数に合わせる.

有効数字の例（足し算，引き算）

- $1.23 + 5.724 = 6.954 = 6.95$

  （↑誤差を含む）

- $1.42\times10^{8} - 0.3\times10^{8}$

  $= 1.12\times10^{8}$

  $= 1.1\times10^{8}$

掛け算・割り算

- 異なる有効桁の数値で計算する場合

⇒結果の有効数字は，もとの有効数字のうち最も桁数の小さいものに合わせる

有効数字の例（掛け算）

- $4.23 \times 0.38 = 4.23 \times (0.3 + 0.08)$

  （↑誤差を含む）　　↑因数

  分解すると解る
- $= 1.269 + 0.3384$
- $= 1.6074$（←電卓の答え）
- $= 1.6$

定数，物理定数が入る計算

- $=3.1415926535\cdots\sim3.15$？

$$4\pi r^2=4\times3.1416\times(2.674)^2$$

$$=89.85\ \mathrm{m}^2$$

注：最初の４は理論的確定値